Beitrag zur Röntgenologischen Herzvolumenbemessung mit der Volumenformel nach ROHRER und KAHLSTORF

Walheide Gerle

1972

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546017_0023

Aus dem Institut für die Prophylaxe der Kreislaufkrankheiten
- August Lenz-Stiftung -
bei der Universität München
Vorstand: Prof. Dr. med. G. Schimert

Beitrag zur Röntgenologischen Herzvolumenbemessung mit der Volumenformel nach R o h r e r und K a h l s t o r f

Inaugural-Dissertation
Zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Walheide Gerle, geb. Roscher

aus

Berlin

Jahr

1972

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. Schimert
Dekan:	Prof. Dr. Spann
Tag der mündlichen Prüfung:	25.4.1972

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

DISSERTATIONS – und FOTODRUCK FRANK oHG
8000 München 2 · Gabelsbergerstr. 15 · Tel.: 2 80 90 90

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
Einleitung	1
Literatur	2
1. Volumenbestimmung durch Herstellung eines plastischen Nachbildes	2
2. Herzvolumenbestimmung durch horizontale oder vertikale Schichtung und durch das dreidimensionale Röntgentopogramm	3
3. Herzvolumenbestimmung durch Berechnung aus Abmessungen verschiedener Herzprojektionen	6
Eigene Untersuchungen	13
Untersuchungsmaterial	13
Methodik	15
Ergebnisse	21
Besprechung der Ergebnisse	28
Zusammenfassung und Folgerungen	37
Literaturverzeichnis	41

Einleitung

Die Notwendigkeit, im Rahmen einer zuverlässigen röntgenologischen Herzdiagnostik die Herzgröße bzw. Herzgrößenänderung im volumetrischen Maß anzugeben, wird nicht mehr bestritten.

Von den heute zur Verfügung stehenden Methoden hat nur die Berechnung des Herzvolumens aus zwei Herzprojektionen nach der von R o h r e r und K a h l s t o r f entwickelten Volumenformel und ihren Modifikationen breitere klinische Anwendung gefunden. Gegen die Richtigkeit der Formel sind immer wieder Bedenken erhoben worden, vor allem deswegen, weil sie die individuelle Variabilität der Herzform unberücksichtigt läßt.

Nach bisher vorliegenden Prüfungsergebnissen bietet diese Methode jedoch ausreichende Meßgenauigkeit; überdies hat sie den entscheidenden Vorteil der einfachen Anwendbarkeit.

In dieser Arbeit sollte auf Anregung von Herrn Dr. Eberl anhand einer größeren Meßreihe die Fehlerbreite der Rohrer-Kahlstorf-Formel in der Modifikation nach M u s s h o f f und R e i n d e l l erneut überprüft werden. Weiterhin war zu klären, ob anstelle der gebräuchlichen Sagittal- und Seitprojektionen auch Schrägaufnahmen, bei denen oft geringere Schwierigkeiten bei der Abgrenzung des Herzschattens bestehen, Verwendung finden können.

Literatur

1. Volumenbestimmung durch Herstellung eines plastischen Nachbildes

Von M o r i t z (39) wurde 1900 als erstem diese Methode angegeben, die später auch von P a l m i e r i (50), L y s s h o l m (37), S c h a t z k i (59) und B r e d n o w (6) angewandt wurde. Ihr Grundprinzip liegt darin, daß mittels gekoppelter Drehscheiben aus Karton hergestellte Herzpausen, die jeweils verschiedenen Herzprojektionen entsprechen, auf ein Plastillinmodell übertragen werden.

Die Übertragung geschieht durch eine, den Zentralstrahl des Röntgenbildes ersetzende Metallsaite, die den Herzphasen entsprechende Konturen herausschneidet. Dadurch erhält man ein Herzmodell natürlicher Größe, denn die räumlichen Untersuchungsverhältnisse von Röntgenfokus-Herz-Röntgenfilm und Röntgenschirm bleiben bei der Übertragung unverändert.

Das Herzvolumen wird durch Eintauchen des Modells in Wasser und Messen der verdrängten Wassermenge ermittelt.

Die Bedeutung der plastischen Nachbildung des Herzens liegt vor allem im didaktischen Wert der Methode (Z d a n s k y, 60).

2. Herzvolumenbestimmung durch horizontale oder vertikale Schichtung und durch das dreidimensionale Röntgentopogramm

Bei diesen Verfahren, die von Fuchs und Bayer (15), Duhamel, Martin, Broussin, Guillon (11), Takahashi und Skinozaki (57), Betoulieres, Giraud, Latour, Barjon, Pelissier (3), Gebhard (16), Braun (5), Büchner (7) sowie Büchner und Griese (8) angewandt wurden, wird davon ausgegangen, daß das Gesamtvolumen eines beliebig geformten Körpers aus der Summe parallel geschnittener Schichten berechnet werden kann.

Da es im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich ist, alle auf dem selben Prinzip basierenden, in ihrer Durchführung aber differierenden Verfahren zu beschreiben, werden nur drei herausgegriffen und kurz erläutert.

a. Horizontales Schichtverfahren nach Fuchs und Bayer

Es wird in Verbindung mit der Prismatoidformel angewandt, die für alle Körper gilt, deren Querschnitt von der Höhe durch eine Gleichung zweiten oder dritten Grades abhängt.

Die Herzschichtung erfolgt mit dem Horizontalplanigraphen parallel zur Frontalebene. Die Schichtdicke beträgt jeweils 1 bis 3 cm. Gewöhnlich genügen fünf Schichten. Die Dicke jeder Schicht wird durch den Quotienten h/n ausgedrückt, wobei h die Gesamthöhe ist, d.h. bei der horizontalen Schichtung der größte Tiefendurchmesser, der aus der seitlichen, orthodiagraphisch gewonnenen Thoraxaufnahme bestimmt wird und n die Anzahl der Schichten darstellt.

Bezeichnet man die Grundfläche mit f_n, die Deckfläche mit f_1 und die Schnittflächen in Ebene II mit f_2, in Ebene III mit f_3 usw., so ergibt sich bei fünf Schichten V = Volumen wie folgt:

$$V = \frac{l_{max}}{3 \cdot (5-1)} \cdot (f_1 + 4f_2 + 2f_3 + 4f_4 + f_5)$$

$$l_{max} = h$$

Die planimetrisch gemessenen Flächen werden nach der Formel f' (wahre Flächengröße) = f (planimetrisch gemessene Flächengröße) $\cdot \frac{(\text{Fokus-Schichtabstand})^2}{(\text{Fokus-Filmabstand})^2}$ umgerechnet, so daß die endgültige Formel lautet:

$$V = \frac{l_{max}}{12} (f'_1 + 4f'_2 + 2f'_3 + 4f'_4 + f'_5)$$

B r a u n hat das Verfahren von F u c h s und B a y e r modifiziert, indem er mit Hilfe eines Simultanschichtgerätes sieben bis zehn Schichten in einer Aufnahmezeit von 0,2 sec anfertigte. Da er gleichzeitig die Belichtung durch einen Herzphasenschalter steuerte, war es ihm als erstem möglich, das Herzvolumen mit einem Schichtverfahren in jeder beliebigen Herzphase zu bestimmen. G e b h a r d arbeitet ebenfalls mit der Simultankassette, d.h., er führt gleichzeitig sieben Schichten von jeweils 1 cm durch. Es werden nur die Schichten mit scharf angeschnittenen Herzkonturen ausgemessen. Da der Schichtabstand immer einen cm beträgt, können die Flächenwerte in Quadratzentimetern den Volumina der Schichten in Kubikzentimeter gleichgesetzt werden. Die bei den Schichten nicht scharf angeschnittenen, vorn und hinten gelegenen Restvolumina werden als flache geometrische Kegel aufgefaßt und nach der Formel $V = \frac{1}{3}$ Grundfläche · Höhe berechnet. Grundfläche ist die vorderste bzw. hinterste scharf angeschnittene Schicht und Höhe der Rest des Tiefendurchmessers nach Subtraktion der Schichttiefe.

Den Tiefendurchmesser t_{max} bestimmt man mit Hilfe der Fernaufnahme im frontalen Strahlengang.

Ges. Vol. = $S_1+S_2+S_3+.....+S_n+\frac{1}{3}S_1 \cdot Rtp + \frac{1}{3}S_n \cdot Rta$

Rta = vorderer Rest des Tiefendurchmessers

Rtp = hinterer Rest des Tiefendurchmessers

S_1, S_2 usw. scharf angeschnittene Schichten in cm^3.

Bei der von B ü c h n e r mitgeteilten Methode, die von ihm als Röntgentopogramm bezeichnet wird, liefert das Verfahren mit Hilfe eines kontrastgebenden Bandmaßes, das um den Thorax gelegt wird, aus vier gewöhnlichen Aufnahmen bei unterschiedlicher Drehung des Patienten beliebig viele Querschnitte im Verhältnis 1:1. Diese Querschnitte können entweder unmittelbar zu einem Modell zusammengefügt werden, oder planimetrisch gemessen werden. Bei 1 cm Schichthöhe ist die Summe aller Flächeninhalte annähernd gleich dem Volumen des Gesamtkörpers.

Aus dieser hiermit erfolgten Skizzierung dreier Schichtverfahren zur röntgenologischen Volumenmessung wird ersichtlich, daß sie für die tägliche praktische Anwendung in der Klinik nicht in Frage kommen, sondern nur einigen Instituten vorbehalten bleiben.

Um das Herzvolumen als Maß für die Herzgröße routinemäßig zu bestimmen, muß außer geringer Strahlenbelastung auch ein zumutbarer Arbeits- und Zeitaufwand und eine nicht zu komplizierte Methode gefordert werden.

3. Diese Voraussetzungen erfüllen bis heute nur die Herzvolumenbestimmungen durch Berechnung aus Abmessungen verschiedener Herzprojektionen.

R o h r e r und K a h l s t o r f erarbeiteten unabhängig voneinander 1918/19 bzw. 1932 eine Formel, durch die es gelingt, auf einfache und schnelle Weise aus einer Sagittal- und der zugehörigen seitlichen Röntgenaufnahme das menschliche Herzvolumen zu errechnen (54) (23).

Vor ihnen hatten bereits G e i g e l (19) und B a r d e e n (1) versucht, das Herzvolumen auf rechnerische Weise zu ermitteln. Sie faßten das Herz als Kugel auf und setzten die Fläche einer Herzprojektion in die Kugelformel ein. Die Ergebnisse waren ungenau, da bei dieser Berechnung der Tiefendurchmesser des Herzens nicht berücksichtigt wurde.

R o h r e r und K a h l s t o r f führten als erste neben den Flächenmaßen des Sagittalbilds den Tiefendurchmesser als dritte Dimension ein.

R o h r e r ging von der Überlegung aus, daß der Inhalt eines Körpers beliebiger Form sich aus der Fläche einer Parallelprojektion multipliziert mit der mittleren linearen Ausdehnung in Projektionsrichtung berechnen läßt. Die mittlere lineare Ausdehnung ist nicht direkt zu messen. Sie wird aus der größten linearen Ausdehnung, zu der sie in einem festen und für einen bestimmten Körper konstanten Verhältnis steht, das durch einen Faktor ausgedrückt wird, bestimmt. R o h r e r findet für das menschliche Herz, das er mit einem quergestellten Paraboloid vergleicht, den Faktor 0,59, den er später auf Grund von Modellversuchen auf 0,63 verbessert.

Die von ihm mitgeteilte Formel lautet somit:

$V = 0{,}63 \cdot F \cdot l_{max}$ bzw. $V = k \cdot F \cdot l_{max}$

V = Herzvolumen in cm^3
F = Herzfläche der Parallelprojektion
l_{max} = größte lineare Tiefe in Projektionsrichtung
k = Korrektionsfaktor

K a h l s t o r f leitet die Formel von der Herzform ab. Er faßt das Herz als Mittelding zwischen Ellipsoid und Paraboloid auf. Die Formel zur Berechnung eines Ellipsoids lautet unabhängig von dessen Lage im Raum: $V = 0{,}667 \cdot F \cdot l_{max}$.

Ein Paraboloid wird aus der Formel $V = 0{,}59 \cdot F \cdot l_{max}$ berechnet. Nach K a h l s t o r f s Überlegungen muß demnach die Formel zur Bestimmung des Herzvolumens $V = 0{,}63 \cdot F \cdot l_{max}$ lauten, womit er zum gleichen Ergebnis wie R o h r e r gelangt.

Diese ursprüngliche Rohrer-Kahlstorf-Formel, die sich auf orthodiagraphisch gewonnene Herzmaße bezieht, wurde in den folgenden Jahren mehrfach modifiziert und auf die Belange der Fernaufnahme umgeformt. (J o n s e l l 1939, L i l j e s t r a n d , L y s h o l m , N y l i n und Z a c h r i s s o n 1939, L a r s s o n und K j e l l b e r g 1948, M u s s h o f f und R e i n d e l l 1956).

Im folgenden werden einige Modifikationen kurz aufgezeichnet.

L i l j e s t r a n d , L y s h o l m , N y l i n und Z a c h r i s s o n (34) verwenden zur Volumenbestimmung Röntgenaufnahmen mit einem Fokus-Filmabstand von 2 Metern beim Sagittalbild und 1,5 Metern beim Seitbild. Der Projektionskorrektur legen

sie für die Sagittalprojektion einen Herzzentrum - Filmabstand von 15 cm und für die seitliche Projektion einen Herzzentrum - Filmabstand von 23 cm zugrunde.

Die Herzform wird als Ellipsoid angenommen, wodurch sich der Korrektionsfaktor k von 0,63 auf 0,67 vergrößert. Die frontale Herzfläche wird ausplanimetriert. Die so errechneten Volumenwerte liegen durchschnittlich um 6 % höher als bei der Berechnung mit der ursprünglichen Rohrer - Kahlstorfschen Formel.

Bei der Modifikation durch J o n s e l l 1939 (21, 22) wird die Fokus - Film - Distanz für Sagittal- und Seitprojektion auf 1,5 Meter festgelegt. Wie L i l j e s t r a n d , L y s h o l m , N y l i n und Z a c h r i s s o n betrachtet J o n s e l l das Herz als Ellipsoid, d.h., er verwendet statt des Faktor 0,63 den Korrektionsfaktor 0,67. Die frontale Herzfläche wird nicht durch Planimetrieren, sondern durch Anwendung der Ellipsenformel ermittelt.

J o n s e l l s Formel lautet demzufolge:

$V = 0{,}42 \quad (K) \cdot l \cdot b \cdot d$

K = 0,42. Dieser Wert ergibt sich durch Einsetzen der Ellipsenformel für die Fläche in die Ellipsoidformel und durch Berücksichtigung der durch Herz-Film und Fokus - Film - Distanz bedingten Vergrösserung. l = die Längsachse der Ellipse, gebildet aus der Verbindungslinie des Schnittpunkts der Aorta und des rechten Vorhofs mit der Herzspitze.
b = die Transversalachse der Ellipse, gebildet aus der Verbindungslinie des Schnittpunkts des Pulmonalkonus und des linken Ventrikels mit der rechten unteren Begrenzung der Herzsilhouette.
d = größter Tiefendurchmesser der Seitprojektion.

L a r s s o n und K j e l l b e r g (33) führen bei ihren Untersuchungen den sog. Herzindex ein. Als Herzindex, dessen Beziehung zum Faktor k der Rohrer-Kahlstorf-Formel aus einer graphischen Darstellung direkt entnommen werden kann, wird der Quotient $\frac{d^2}{s}$ bezeichnet. d entspricht der Herztiefe, s der Herzfläche. Beide Autoren hatten durch Versuche eine Abhängigkeit des Faktors k vom Grad des Neigungswinkels des Herzens zur Frontalebene und von der Thoraxabflachung gefunden und diese Beziehung durch den Herzindex ausgedrückt.

M u s s h o f f und R e i n d e l l (45) behalten im Gegensatz zu J o n s e l l und den anderen bereits erwähnten Autoren den ursprünglichen Rohrer-Kahlstorf-Faktor k = 0,63 bei.

Da Frontal- und Seitaufnahme mit einer Fokus - Film - Distanz von 2 Metern angefertigt werden und zur Korrektur des Projektionsfehlers als Objekt - Filmabstand 10 cm bei der Frontalaufnahme und 20 cm bei der Seitaufnahme zugrunde gelegt werden, erfährt der Faktor k eine Verkleinerung auf 0,4.

Ein weiterer Unterschied zu der von J o n s e l l benutzten Formel liegt in der Definition und Bestimmung des Längs- und Breitendurchmessers l und b der sagittalen Herzprojektion. J o n s e l l bezieht beide Herzdruchmesser auf fixe Punkte der Herzsilhouette, während M u s s h o f f und R e i n d e l l l und b als Längen- und Breitendurchmesser des M o r i t z ' schen Herzrechtecks definieren, das so eingezeichnet werden muß, das l die größtmögliche Länge der Herzsilhouette und b die größtmögliche darauf senkrecht stehende Breite darstellt.

Nur wenn diese Bedingung erfüllt ist, darf die Ellipsenformel angewandt werden. Durch Arbeiten von Frisch und Kaltenbach (13) wird diese Forderung ausdrücklich bestätigt.

Die von Musshoff und Reindell entwickelte Modifikation lautet somit:

$$V = 0{,}63 \frac{\pi}{4} \frac{200 - 10}{200} \; l \; \frac{200 - 10}{200} \; b \; \frac{200 - 20}{200} \; t$$

Der absolute Fehler der auf der Rohrer-Kahlstorf-Formel aufbauenden Methoden wurde vielfach geprüft.

Die Prüfungsergebnisse bewegen sich je nach Autor zwischen $\pm$ 2,7 % und 5 % der wahren Wasserverdrängung durch das Herz. (Kahlstorf 1932 (23, 24), Lysholm 1934 (37, 38), Friedman (12) 1950 und 1951, Lind 1950 (35), Musshoff und Reindell 1956 (45)).

Abweichend davon fanden Büchner und Griese 1960 (8) bei der Prüfung der Rohrer-Kahlstorf-Formel einen statistisch nicht gesicherten Fehler von 18 %, bei der Prüfung der Modifikation nach Musshoff und Reindell jedoch nur einen absoluten Fehler von 1,3 %.

Die Herzvolumenbestimmung hat sich als sicherste Methode der Herzgrößenmessung heute durchgesetzt. In der Klinik findet sie z.B. bei Patienten nach Infarkt, mit Myocarditis, schwerer Hypertonie oder Herzvitien oftmals Anwendung (27, 28).

Die Volumenmessung gestattet durch die relativ genaue Erfassung der Größenänderung des Herzens, vor allem, wenn sie in Verbindung mit der Prüfung der Herzleistung durchgeführt wird, Rückschlüsse auf konservative oder chirurgische Therapieerfolge (27, 28, 32, 51, 53, 56).

Am Institut für die Prophylaxe der Kreislaufkrankheiten bei der Universität München wird zur Bestimmung von Herzvolumina die nach Musshoff - Reindell modifizierte Rohrer - Kahlstorf - Formel verwandt.

Obwohl durch den langjährigen Umgang mit der Methode die Ermittlung der Herzmaße eine relativ große Sicherheit erlangt hat, treten doch, wie bereits von Kahlstorf (24, 25) und den anderen bereits angeführten Autoren (8, 28, 42, 36, 45 u.a.) bestätigt wurde, oft sehr große Schwierigkeiten bei der Abgrenzung des Tiefendurchmessers und der Vervollständigung der unteren Herzkontur auf.

Da im linken und rechten vorderen Schrägbild sich der Herzschatten im Vergleich zur Seitaufnahme wesentlich besser zur vorderen Brustwand und zur Wirbelsäule abgrenzen läßt, wäre nach theoretischen Überlegungen bei der Verwendung dieser Aufnahmen zumindest mit einer Verringerung des durch Bestimmung des maximalen Tiefendurchmessers

bedingten Fehlers zu rechnen. Dieser Fehler wird von K a h l s t o r f (23, 24, 25) mit maximal ± 5 % angegeben.

Der durch Eintauchen des Herzens in den Zwerchfellschatten bedingte Fehler wird von K a h l s t o r f ebenfalls als ± 5 % angenommen. Da auch bei Verwendung von Schrägaufnahmen das Eintauchen des Herzens in den Zwerchfellschatten nicht vermieden werden kann, wird dieser Fehler dagegen nicht eliminiert.

Die Rohrer-Kahlstorf-Formel ist nach ihren Grundlagen für alle Herzprojektionen gültig. Somit kann sie bei Verwendung von zwei, senkrecht zueinander stehenden Schrägaufnahmen ebenfalls benutzt werden.

C i g n o l i n i (9), B o l l i n i (4) und B e n e d e t t i (2) versuchten bereits die Tiefenausdehnung des Herzens aus dem ersten vorderen Schrägbild zu ermitteln. Die von C i g n o l i n i angegebene Formel, die nicht auf der Rohrer-Kahlstorf-Formel basiert, lautet:

$$V = \frac{4}{3} \; \frac{S}{4} \; \frac{DPr}{2}$$

S = Herzfläche, ermittelt aus der Frontalaufnahme
DPr = Breite des Herzschattens im ersten vorderen Schrägdurchmesser.
Die Formel fand keine Verbreitung.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen durch eine größere Versuchsreihe Herzvolumina

1. aus Frontal- und Seitaufnahme
2. aus zwei Schrägaufnahmen ebenfalls unter Verwendung der nach M u s s h o f f und R e i n d e l l modifizierten R o h r e r - K a h l s t o r f - Formel ermittelt und dann die Ergebnisse untereinander verglichen werden und
3. zugleich eine Kontrolle ihrer Werte mittels der Wasserverdrängung (= Sollwert) erfolgen.

Eigene Untersuchungen

Untersuchungsmaterial

Als Untersuchungsmaterial wurden uns vom Anatomischen Institut der Universität München 110 formalinfixierte Leichenherzen zur Verfügung gestellt. Davon mußten 8 wegen zu starker Deformierung im Bereich der Gefäßstümpfe oder der Herzbasis eliminiert werden. 102 Herzen wurden schließlich für unsere Messungen verwendet.

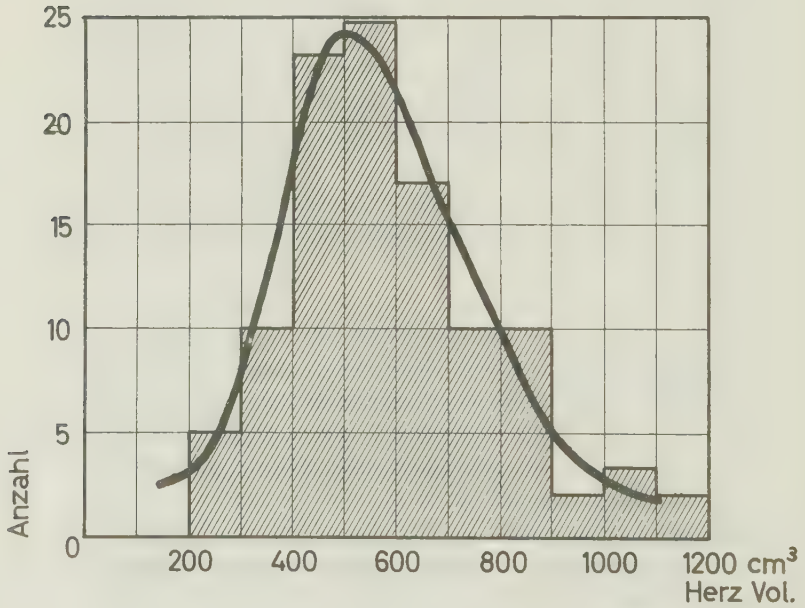
Die Herzvolumengröße schwankte zwischen den Extremwerten 250 und 1300 ccm. Die Volumenverteilung der untersuchten Herzen ist aus Abbildung 1 ersichtlich. Es war dabei unbekannt, ob es sich um männliche oder weibliche Herzen handelte. Der Durchschnittswert der von uns getesteten formalinfixierten Herzen lag bei 590,5 ccm Volumen und damit unter den von M u s s - h o f f und R e i n d e l l mit 800 ccm für männliche oder von B r a u n (5) und K j e l l b e r g (26, 27) mit 784 ccm bzw. 649 ccm für weibliche Herzen angegebenen Werten.

Ob die Herzen von herzgesunden oder herzinsuffizienten Individuen stammen, kann selbstredend nicht aus der Volumengröße ermittelt werden, da, wie Arbeiten von M u s s h o f f , R e i n d e l l u. Mitarbeiter (46, 49) bewiesen, die absoluten Herzvolumenwerte allein keine Aussage über eine pathologische Dilatation gestatten. Erst durch vergleichende Betrachtung von Herzgröße und Leistung läßt sich eine Aussage über Insuffizienz oder normale Verhältnisse machen.

Wegen der Formalinfixierung verzichteten wir auf eine Beurteilung hinsichtlich vitienkonfigurierter Herzen und beschränkten uns darauf, aus dem Untersuchungsmaterial 11 überdurchschnittlich stark von der Form eines Ellipsoids bzw. Paraboloids abweichende

Herzen auszuwählen und die Volumenmessungen dieser Gruppe, die auch die drei größten Herzen mit einem Volumen um 1100 ccm enthielt, den Messungen der gesamten Reihe gegenüberzustellen.

Abb. 1 Häufigkeitsverteilung des Untersuchungsmaterials bezüglich des Herzvolumens, ermittelt aus der Wasserverdrängung



Methodik

1. Messung des Herzvolumens durch Wasserverdrängung

Alle 102 Herzen wurden zunächst allseitig mit einer dünnschichtigen Plastikfolie überzogen, die rundum eng anlag und die Ostien verschloß. Im Anschluß daran wurde das Volumen jeden Herzens durch zweimalige Messung der Wasserverdrängung im Überlaufgefäß bestimmt.

Dabei erhaben sich Messdifferenzen von maximal 3 ccm, die bei der weiteren Untersuchung unberücksichtigt blieben.

Der so erhaltene Sollwert bildete die Grundlage für die Beurteilung der angewendeten röntgenologischen Methoden.

2. Röntgenaufnahmen

a) Die Herzen wurden in einem quadratischen, mit feinen Schaumstofflocken gefüllten Karton gebettet. Dabei waren wir bemüht, die Lage des Herzens in situ bei Rückenlage zu imitieren, da in unserem Institut zur Anfertigung der Röntgenaufnahmen die Rückenlage des Patienten bevorzugt wird.

Musshoff und Reindell (47) wenden ebenfalls die Rückenlage an, während Kjellberg (26, 27), Larsson (33), Klepzig und Frisch (30) die Bauchlage wählen.

Nach statistisch gesicherten Untersuchungen von König und Bichmann 1956 (31) ergeben

sich dabei keine Volumendifferenzen, während nach von G e b h a r d (16) veröffentlichten Arbeiten geringe Füllungsschwankungen in Rückenlage zu erwarten sind.

Es wurde von uns bei jedem Herzen eine Aufnahme im anterioposterioren Strahlengang und im frontalen Strahlengang von rechts nach links angefertigt. Die Aufnahmen erfolgten synchron. Die Versuchsanordnung siehe Abbildung 2a.

b) Nach Anfertigung der Seit- und Sagittalaufnahme drehten wir die Versuchsanordnung um 45° nach rechts, entsprechend der Lagerung eines Patienten zur Anfertigung einer Röntgenaufnahme im ersten Schrägdurchmesser. In dieser neuen Stellung wurden ebenfalls zwei Aufnahmen synchron geschossen, die als erster und zweiter Schrägdurchmesser bezeichnet werden. Versuchsanordnung siehe Abbildung 2b.

Der Fokus bei beiden Stellungen befand sich über und rechts vom Aufnahmeobjekt.

Wir erhielten somit von jedem Herzen 4 Röntgenaufnahmen, aus denen wir nach Verfahren I - VI (s.u.) das Volumen eines jeden einzelnen Herzens 6-fach berechneten.

3. Berechnung der Herzvolumina mit Hilfe der Röntgenaufnahmen

Wir gingen bei allen Berechnungen von der für die Belange der Fernaufnahme abgeänderten Rohrer-Kahlstorff-Formel aus.

Bei Verfahren I verwendeten wir die von M u s s - h o f f und R e i n d e l l 1956 (45) angege-

bene Modifikation: Wir bestimmten die Frontalfläche des Herzens mit Hilfe des Moritz'schen Herzvierecks, das genau parallel den Herzachsen eingezeichnet wird.

Das Herzvolumen V errechnet sich dann aus

$$V = 0{,}63 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{200 - x}{200} \cdot l \cdot \frac{200 - x}{200} \cdot b \cdot \frac{200 - y}{200} \cdot t_{max}$$

x = Abstand Herzmitte - Film bei der Sagittalaufnahme, s. Abb. 2a

y = Abstand Herzmitte - Film bei der Seitaufnahme, s. Abb. 2a

x und y werden hierbei nicht als konstante Film - Objektdistanz wie bei M u s s h o f f und R e i n d e l l (x = 10 cm, y = 20 cm) angenommen, sondern jedesmal genau bestimmt. Als Herzmitte wurde in der Seitaufnahme die Mitte des größten Tiefendurchmessers und in der Frontalaufnahme der Schnittpunkt der Ellipsenachsen definiert. Der Abstand der Filmmitte des Frontalbildes zur Seitaufnahme betrug bei unserer Versuchsanordnung konstant 21 cm, der Abstand der Filmmitte des Seitbildes zur Sagittalaufnahme konstant 22 cm.

Aus dem Verhältnis der Herzmitte zur Filmmitte konnte somit aus der Sagittalaufnahme jeweils y und aus der Seitaufnahme x bestimmt werden.

l = Längendurchmesser

b = Breitendurchmesser des parallel zu den Herzachsen eingezeichneten Moritz'schen Herzrechtecks.

t_{max} = größter Tiefendurchmesser in Projektionsrichtung

200 = Fokus - Film - Abstand in cm, gleichbleibend bei allen Verfahren.

Bei Verfahren II wurde zur Bestimmung der Herzfläche nicht das Moritz'sche Herzrechteck verwendet, die Fläche wurde stattdessen exakt ausplanimetriert. Die Ermittlungen von t_{max}, x und y erfolgten entsprechend Verfahren I.

Verfahren I und Verfahren II lagen die Maße aus der Sagittalaufnahme a_1 und der Seitaufnahme a_2 zugrunde.

Bei Verfahren III und IV entsprach die Methode Verfahren I. Die Grundlage bildeten jedoch die Aufnahmen b_1 und b_2 der Abbildung 2b, die im schrägen, senkrecht zueinander verlaufenden Strahlengang gefertigt wurden.

Bei Verfahren III wurden die Maße des Moritz'schen Herzrechtecks aus b_1, t_{max} aus b_2,
bei Verfahren IV die Maße des Moritz'schen Herzrechtecks aus b_2 und t_{max} aus b_1 ermittelt.

Bei Verfahren V und VI entsprach die Methode Verfahren II. Der Berechnung lagen die Aufnahmen b_1 und b_2 zugrunde. Die Fläche wurde bei Verfahren V aus Aufnahme b_1, bei Verfahren VI aus Aufnahme b_2 planimetrisch bestimmt, t_{max} bei Verfahren V aus b_2, bei Verfahren VI aus b_1.

x und y mußten für Verfahren III, IV, V, VI analog dem Vorgehen bei Verfahren I für jede Aufnahme extra gemessen werden.

Da sich die Herzkonturen wegen des völlig strahlendurchlässigen Einbettungsmaterials allseitig scharf abzeichneten, machte die Abgrenzung des Herzschattens und damit die Bestimmung der Herzabmessungen keine Schwierigkeit.

Tabelle 1: Erläuterung der Berechnungsverfahren

Bezeichnungen siehe Abbildung 2

	Zugrunde liegende Röntgenaufnahmen	Herzrechteck aus	Planimetr. Fläche	t_{max} aus
Verf. I	$a_1 + a_2$	a_1	---	a_2
II	$a_1 + a_2$	---	a_1	a_2
III	$b_1 + b_2$	b_1	---	b_2
IV	$b_1 + b_2$	b_2	---	b_1
V	$b_1 + b_2$	---	b_1	b_2
VI	$b_1 + b_2$	---	b_2	b_1

Abb. 2a

Versuchsanordnung zu den Röntgenaufnahmen

a_1 im sagittalen und
a_2 im seitlichen Strahlengang

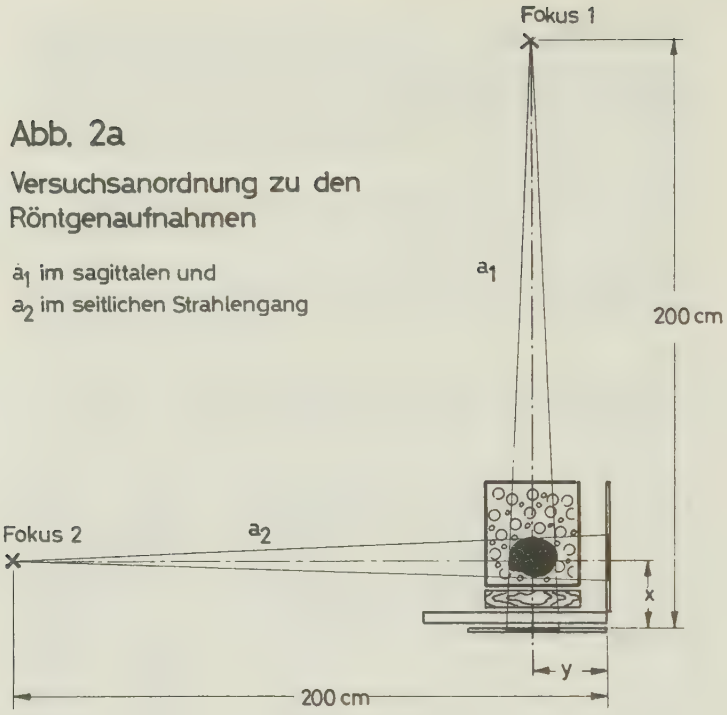
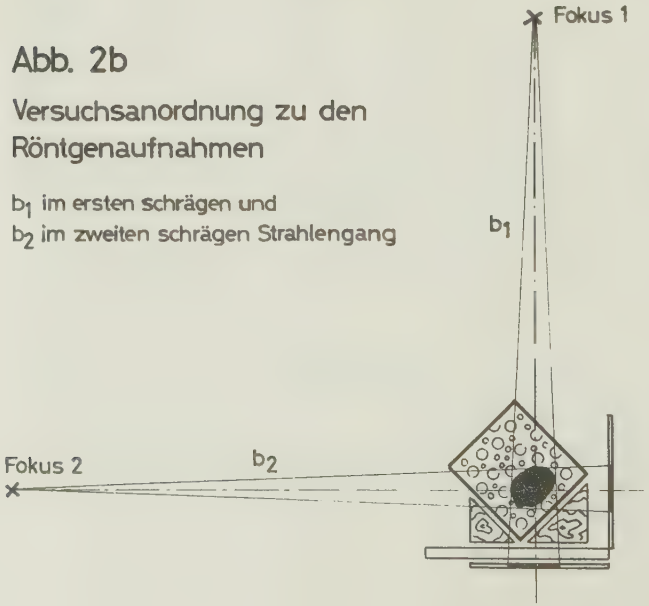


Abb. 2b

Versuchsanordnung zu den Röntgenaufnahmen

b_1 im ersten schrägen und
b_2 im zweiten schrägen Strahlengang



Ergebnisse

Die Ergebnisse der Messungen und Berechnungen werden tabellarisch wiedergegeben. Es sollen die Abweichungen der verwendeten Methoden vom Sollwert aufgezeigt, eventuelle absolute Fehler der Methoden gesichert, die Meßgenauigkeit (Streubreite) geprüft und die Verfahren untereinander verglichen werden.

Alle Rechengänge wurden mit dem Rechenschieber ausgeführt. In Tabelle 2 werden die Resultate unter Berücksichtigung aller getesteten Herzen (N = 102) zusammengefaßt.

Die Ergebnisse der Volumenbestimmung von 11 besonders stark von der Ellipsoidform abweichenden Herzen (s. S. 13) sind in der Tabelle 3 enthalten.

Abweichungen und Fehler der Verfahren: Zunächst werden die arithmetischen Mittelwerte M und ihre Streubreite s der Meßreihe Wasserverdrängung des Herzens (WV) und der sechs angewendeten Methoden errechnet und einander gegenübergestellt (siehe Tabelle 2, Spalten A, B und C). Zwar bewegen sich die Unterschiede zwischen dem Mittelwert der WV und denen der einzelnen Verfahren zwischen + 13,5 ccm und - 18,7 ccm, sie lassen sich aber in keinem Falle statistisch auf der Basis der Streuung der Einzelwerte (t-Test) absichern, da die durch unterschiedliche Herzgrößen bedingten Streuungen weit über den durch Meßfehler verursachten liegen.

Um die große biologische Streuung (kleinstes Herz 250 ccm, größtes 1300 ccm WV) zu eliminieren, werden deshalb die Mittelwerte M_d (= mittlere Abweichung der Einzelwerte vom Sollwert) bzw. $M_{d\%}$ durch paar-

weisen Vergleich der Meßwerte mit den Sollwerten berechnet und statistisch geprüft (siehe Tabelle 2, Spalten D, E, F und Tabelle 3).

Aus den Säulendiagrammen der Abbildungen 3 bis 8 und aus der Abbildung 9 ist die Tendenz der geprüften Methoden, das Herzvolumen zu groß oder zu klein wiederzugeben, zu erkennen. Zur Erstellung der Diagramme werden die prozentualen Abweichungen der Einzelwerte von den zugehörigen Werten aus der Wasserverdrängung in Gruppen eingeteilt, die jeweils um 2 % bzw. bei Abbildung 9 um 2,5 % steigen. Insbesondere ist die Häufung der Abweichungen der Ergebnisse des Verfahrens I im Bereich - 3 bis - 5 % aus Abbildung 3 und 9 und des Verfahrens III im Bereich von + 2 bis + 6 % aus Abbildung 5 zu sehen. Andererseits kommt die gleichmäßige Verteilung der Abweichungen der Verfahren IV und V durch die nahezu symmetrische Gruppierung der Säulen um die Abszisse zum Ausdruck.

Außerdem sind aus den Diagrammen die maximalen bei den einzelnen Verfahren aufgetretenen Fehler zu ersehen, sie liegen in der Größenordnung von $\pm$ 15 bis $\pm$ 20 %.

Vergleich der Meßgenauigkeit: Die Streuung der einzelnen Methoden kann untereinander mit dem F-Test verglichen werden, hierbei werden die Varianzen s_d^2 der Tabellen 2 und 3 zueinander ins Verhältnis gesetzt.

Zur Prüfung der Frage, ob sich durch schräge Herzprojektion gegenüber der sagittalen Projektion die Streuung der röntgenologischen Volumenmessung verändert, wird Tabelle 4 aufgestellt. Als homolog

gelten die Verfahren, denen die gleiche rechnerische Methode aber Röntgenaufnahmen in unterschiedlicher Projektionsrichtung zugrunde liegen.

In Tabelle 5 werden die mittleren Abweichungen vom Sollwert und Streuungen der Verfahren I, III und IV, die die Fläche des Herzschattens rechnerisch erfassen, denen der Verfahren II, V und VI mit planimetrischer Flächenmessung gegenüber gestellt. Es soll also geprüft werden, ob die Art der Flächenermittlung zu unterschiedlichen Ergebnissen bei der Herzvolumenbestimmung führt.

Tabelle 2: N = 102

A	B	C
Gemessene Wasserverdrängung des Herzens (WV) = Sollwert	Röntgenologisch ermitteltes Herzvolumen nach Verfahren I - VI	Sicherung der Unterschiede der Mittelwerte
M $\pm$ εM	M $\pm$ εM	
	Verfahren I: Röntgenaufnahmen im sagittalen u. seitlichen Strahlengang, Modifikation der Rohrer-Kahlstorf-Formel nach Musshoff u. Reindell	
	$579{,}7 \pm \frac{19{,}7}{198}$ ccm	t = 0,4 Ø
	Verfahren II: wie Verfahren I, jedoch Herzfläche planimetrisch ermittelt	
	$571{,}9 \pm \frac{20{,}2}{203}$ ccm	t = 0,7 Ø
	Verfahren III: wie Verfahren I, jedoch Strahlengang entsprechend 1. Schrägdurchmesser	
Wasserverdrängung des Herzens	$605{,}4 \pm \frac{20{,}5}{207}$ ccm	t = 0,5 Ø
	Verfahren IV:	
$590{,}5 \pm \frac{20{,}1}{202}$ ccm	wie Verfahren I, jedoch Strahlengang entsprechend 2. Schrägdurchmesser	
	$585{,}7 \pm \frac{19{,}8}{200}$ ccm	t = 0,2 Ø
	Verfahren V: wie Verfahren II, jedoch Strahlengang entsprechend 1. Schrägdurchmesser	
	$593{,}5 \pm \frac{20{,}2}{204}$ ccm	t = 0,1 Ø
	Verfahren VI: wie Verfahren II, jedoch Strahlengang entsprechend 2. Schrägdurchmesser	
	$581{,}7 \pm \frac{20{,}0}{201}$ ccm	t = 0,3 Ø
		Ø = statistisch kein Unterschied

D			E	F			
Absoluter Unterschied, errechnet als mittlere Differenz der Einzelwerte			Sicherung des absoluten Unterschieds d. Spalte D	Prozentualer Unterschied, errechnet aus der mittleren Differenz der Einzelwerte			
M_d	$\pm s_d$	εM_d		$M_{d\%}$	$\pm s_{d\%}$	$\varepsilon M_{d\%}$	
-10,5	± 30,8	3,1 ccm	t = 3,44 P = 0,001	-1,80	± 5,18	0,51 %	Statistisch hochgesicherter Unterschied
-18,7	± 30,5	3,0 ccm	t = 6,20 P < 0,001	-3,14	± 5,13	0,51 %	Stat.hochges. Unterschied
+13,5	± 38,9	3,85 ccm	t = 3,51 P < 0,001	+2,27	± 6,54	0,65 %	Stat.hochges. Unterschied
- 5,1	± 30,3	3,0 ccm	t = 1,72 0,1>P>0,05	-0,86	± 5,1	0,51 %	Stat. kein Unterschied
+ 2,7	± 38,6	3,83 ccm	t = 0,71 P > 0,1	+0,46	± 6,50	0,64 %	Stat. kein Unterschied
- 8,3	± 31,1	3,08 ccm	t = 2,69 0,02>P>0,01	-1,40	± 5,23	0,52 %	Stat. wahrscheinlicher Unterschied

Die Sicherung der absoluten Unterschiede entspricht der Sicherung der prozentualen Unterschiede

Tabelle 3: 11 Herzen (N = 11), deren Form von der Ellipsoidform erheblich abweicht

Gemessene Wasserverdrängung (WV) des Herzens, Sollwert
707,7 ± 19,1 ccm (s = 200 ccm)

Röntgenologisch ermitteltes Herzvolumen nach Verfahren I - VI	Absoluter Unterschied zwischen WV u. röntgenologisch ermitteltem Herzvol., errechnet als mittlere Differenz der Einzelwerte	Prozentualer Unterschied zwischen WV u. röntgenologisch ermitteltem Herzvol., errechnet aus der mittleren Differenz der Einzelwerte
$M \pm \frac{\varepsilon M}{s}$ ccm	$M_d \pm \frac{\varepsilon M_d}{s_d}$	$M_{d\%} \pm \frac{\varepsilon M_{d\%}}{s_{d\%}}$
Verfahren I:		
$703{,}8 \pm \frac{63{,}3}{210}$	$-3{,}9 \pm \frac{7{,}6 \text{ ccm}}{25{,}3}$	$-0{,}55 \pm \frac{1{,}1\ \%}{3{,}57}$
		t = 0,51 P > 0,1 Ø
Verfahren II:		
$690{,}6 \pm \frac{60{,}2}{200}$	$-17{,}3 \pm \frac{6{,}1 \text{ ccm}}{20{,}2}$	$-2{,}44 \pm \frac{0{,}86\ \%}{2{,}85}$
		t = 2,84 0,02>P>0,01+
Verfahren III:		
$737{,}3 \pm \frac{65{,}0}{216}$	$+30{,}5 \pm \frac{14{,}7 \text{ ccm}}{48{,}6}$	$+4{,}31 \pm \frac{2{,}07\ \%}{6{,}87}$
		t = 2,08 0,1>P>0,05 Ø
Verfahren IV:		
$706{,}8 \pm \frac{61{,}8}{205}$	$-0{,}9 \pm \frac{9{,}8 \text{ ccm}}{32{,}5}$	$-0{,}13 \pm \frac{1{,}40\ \%}{4{,}58}$
		t = 0,09 P > 0,1 Ø
Verfahren V:		
$716{,}4 \pm \frac{62{,}4}{207}$	$+6{,}8 \pm \frac{11{,}7 \text{ ccm}}{39{,}8}$	$+0{,}96 \pm \frac{1{,}65\ \%}{5{,}48}$
		t = 0,57 P > 0,1 Ø
Verfahren VI:		
$693{,}2 \pm \frac{62{,}1}{206}$	$-20{,}9 \pm \frac{6{,}8 \text{ ccm}}{22{,}5}$	$-2{,}95 \pm \frac{0{,}96\ \%}{3{,}18}$
		t = 3,08 0,02>P>0,01+

Die Sicherung der absoluten Unterschiede entspricht der Sicherung der prozentualen Unterschiede

Ø = Statistisch keine Abweichung
+ = Statistisch wahrscheinliche Abweichung

Tabelle 4: Unterschiede der Streuung der homologen Verfahren

a)	s_d Verfahren I zu	N = 102	N = 11
	s_d Verfahren III	F = 1,60 P < 0,01^{++}	F = 3,69 0,05>P>0,001^{+}
	s_d Verfahren IV	F = 1,03 P > 0,05 Ø	F = 1,66 P > 0,05 Ø
b)	s_d Verfahren II zu	N = 102	N = 11
	s_d Verfahren V	F = 1,60 P < 0,01^{++}	F = 3,87 0,05>P>0,01^{+}
	s_d Verfahren VI	F = 1,04 P > 0,05 Ø	F = 1,23 P > 0,05 Ø

Tabelle 5: Unterschiede zwischen den Verfahren mit rechnerischer und den Verfahren mit planimetrischer Herzflächenerfassung

N = 102	Unterschiede d. mittl. Abweichung v. Sollwert	Unterschiede d. Streuung s_d
Verf. I/Verf. II	t = 1,91 Ø	F = 1,02 Ø
Verf. III/Verf. V	t = 1,99; P = 5 %	F = 1,01 Ø
Verf. IV/Verf. VI	t = 0,51 Ø	F = 1,05 Ø

Ø = Statistisch kein Unterschied

\+ = Statistisch wahrscheinlicher Unterschied

++ = Statistisch gesicherter Unterschied

Besprechung der Ergebnisse

Absoluter Fehler:

Die Ergebnisse der Methoden stimmen durchweg gut mit dem Sollwert 590 ± 20,1 cm^3 überein (s. Tab. 2). Durch die große Beobachtungsreihe ist dennoch zum Teil eine statistische Sicherung der Abweichungen möglich; bei diesen gesicherten Abweichungen handelt es sich um absolute methodische Fehler.

Eine hochgesicherte Differenz vom WV-Sollwert von 1,80 ± 0,51 % weisen Verf. I, von 3,14 ± 0,51 % Verf. II und 2,27 ± 0,65 % Verf. III auf, während es sich bei der Differenz des Verf. VI mit 1,40 ± 0,52 % nur möglicherweise um einen absoluten Fehler handelt.

Die Abweichungen der Verf. IV und V sind dagegen zufällig.

Die Prozentzahlen der Tabelle 3 zeigen, daß trotz ungünstiger Herzformen nur die Abweichungen der Verf. III und VI zugenommen haben, wegen der geringen Beobachtungszahl sind sie jedoch unsicher. Bei den übrigen Verfahren sind die Abweichungen sogar geringer geworden.

Die Rohrer-Kahlstorf-Formel, modifiziert nach Musshoff und Reindell ist bezüglich ihrer Fehlerbreite ausreichend geprüft worden.

Unsere Prüfungsergebnisse liegen zwischen ± 0,5 und ± 3,1 % (N = 102) Abweichung vom Sollwert, bei Berücksichtigung nur der statistisch gesicherten Ergebnisse zwischen ± 1,4 und ± 3,1 %.

M u s s h o f f (45) gibt den absoluten Fehler seiner Methode mit ± 5 % an, während B ü c h n e r und G r i e s e (8) einen statistisch gesicherten Fehler von ± 1,3 % fanden. Allerdings sind die vorgenannten Prüfungen jeweils nur unter Verwendung von Sagittal- und Seitaufnahmen des Herzens vorgenommen worden.

Unsere Ergebnisse, mit Berücksichtigung der Schrägaufnahmen, decken sich im wesentlichen mit denen der vorgenannten Autoren; auch die gefundenen Fehler bei der Volumenbestimmung der in Tabelle 3 erfaßten Herzen liegen in diesem Rahmen.

Es wäre zu erwarten, daß die Abweichungen vom WV-Wert bei den Verfahren mit planimetrischer Herzflächenmessung geringer sind als bei den Verfahren, bei denen die Fläche mit Hilfe der Ellipsenformel erfaßt wird.

Tatsächlich sind die Ergebnisse der zweitgenannten Verfahren jedoch besser, und nur Verfahren III entspricht dieser Annahme. Mittels des t-Testes läßt sich zwischen den mittleren Abweichungen der beiden Gruppen nur zwischen Verfahren III und V ein möglicher Unterschied feststellen. Somit zeigt sich keine einheitliche Tendenz, die zur Bevorzugung der planimetrischen oder rechnerischen Herzflächenermittlung führen könnte. Darauf wurde schon von U n g e r l e i d e r und G u b n e r (58) sowie von M u s s h o f f und Mitarbeitern (42, 43, 44) hingewiesen. Überdies ist bei der praktischen Durchführung der technische Arbeitsaufwand bei beiden Methoden etwa gleich.

Streuung:

Die kritische Beurteilung der verwendeten Methoden zur Herzvolumenbestimmung untereinander kann nicht nur nach der größeren oder kleineren Abweichung ihrer mittleren Differenz zum Sollwert erfolgen, sie muß auch die Streubreite ihrer Einzelwerte berücksichtigen.

Nach Tabelle 4 weist das Verfahren III eine gesichert größere Streuung als das mit ihm verglichene Verfahren I auf, besonders deutlich bei der Volumenbestimmung der 11 verformten Herzen, bei der auch die absolute Abweichung des Verfahrens III mit 30,5 $\pm$ 14,7 cm^3 am größten ist.

Ähnlich ist die Streuung des Verfahrens V statistisch gesichert, bzw. wahrscheinlich größer als die des Verfahrens II.

Bei Gegenüberstellung der Methoden mit planimetrischer denen mit rechnerischer Herzflächenermittlung (Tab. 5) ergeben sich keine Unterschiede ihrer Streuungen (Verfahren III s.u.).

Spannweite:

Die Spannweite der einzelnen Verfahren, d.h. die Differenz zwischen der größten negativen und der größten positiven Abweichung, kann aus den Säulendiagrammen der Abbildungen 3 bis 8 ersehen werden. Sie ist bei der Meßreihe mit N = 102 Herzen von geringer Aussagekraft, da bei größeren Meßreihen einzelne stärkere Abweichungen wahrscheinlicher auftreten als bei kleinerer Anzahl der Fälle. Für die in Tabelle 3 zusätzlich erfaßten 11 Herzen wird deshalb die Spannweite wiedergegeben:

Verfahren I	15,6 %
Verfahren II	14,8 %
Verfahren III	26,7 %
Verfahren IV	14,8 %
Verfahren V	20,4 %
Verfahren VI	8,8 %

Auch bei diesem Beurteilungskriterium schneidet das Verfahren III (max. positive Abweichung 22,8 %, max. negative Abweichung 3,9 % vom Sollwert) etwas schlechter als die übrigen Verfahren ab.

Wird den beiden Beurteilungskriterien - mittlere Abweichung vom Sollwert und Streubreite der Einzelwerte - gleiches Gewicht beigemessen, können die Verfahren, I, II, IV, V und VI als im wesentlichen gleich brauchbar angesehen werden.

Das Verfahren III weist dagegen signifikant schlechtere Ergebnisse als die übrigen Verfahren auf. Ihm liegen Röntgenaufnahmen im ersten Schrägdurchmesser zugrunde; dadurch lassen sich die schlechteren Ergebnisse jedoch nicht erklären, weil auch beim Verfahren V mit guten Resultaten dieselben Aufnahmen verwendet werden. Es muß vielmehr angenommen werden, daß in der Projektionsrichtung des ersten Schrägdurchmessers der Herzschatten stärker von der Form einer Ellipse abweicht als im sagittalen Strahlengang bzw. im zweiten Schrägdurchmesser. Bei planimetrischer Herzflächenmessung können dagegen derartige Abweichungen einwandfrei miterfaßt werden, wodurch die besseren Ergebnisse des Verfahrens V, das ebenfalls auf den Aufnahmen im ersten Schrägdurchmesser basiert, erklärt werden könnten.

Nach unseren Ergebnissen können auch die Röntgenaufnahmen im ersten Schrägdurchmesser zur Herzvolumenbestimmung verwendet werden, jedoch sollte die Fläche des Herzschattens dann planimetrisch ausgemessen werden.

Häufigkeitsverteilung der Abweichungen

der gemessenen Herzvolumen von den WV-Herzvolumen (= tatsächl. Herzvolumen)

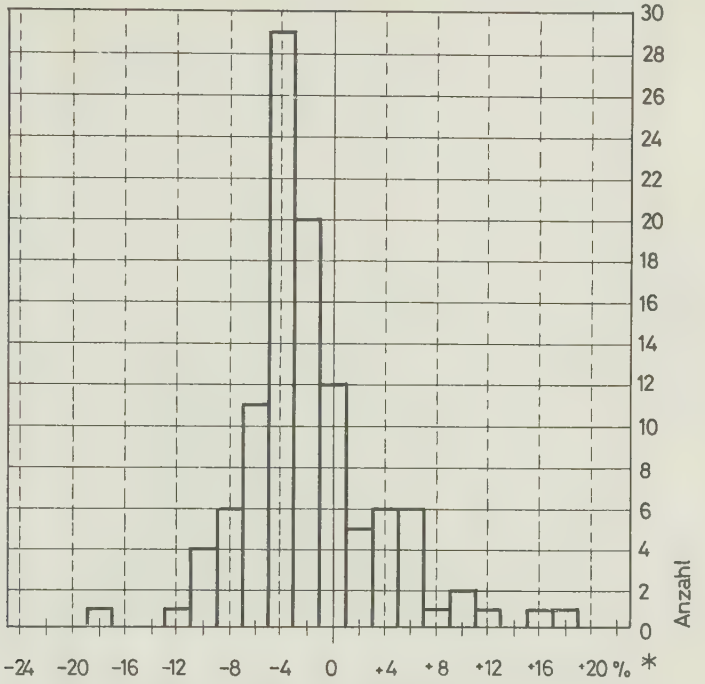


Abb. 3

Verfahren I

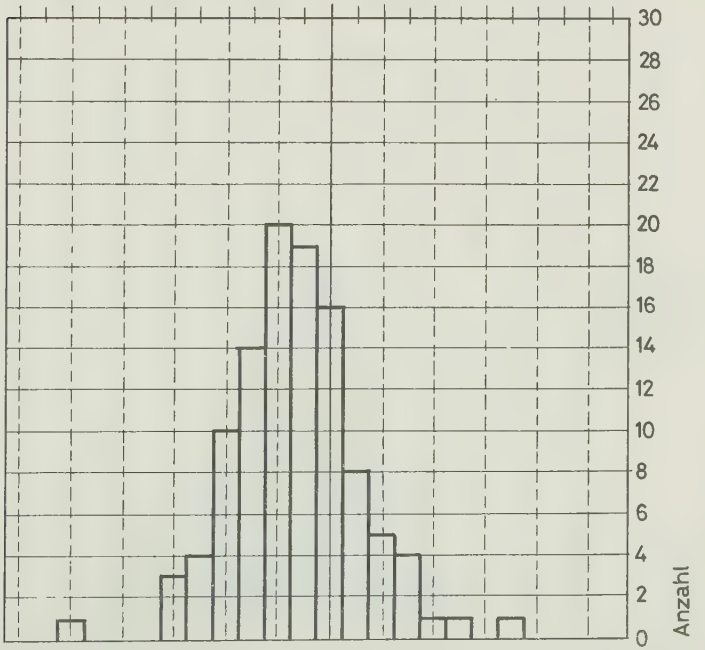


Abb. 4

Verfahren II

*) Abweichung vom tatsächl. Herzvolumen

Häufigkeitsverteilung der Abweichungen

der gemessenen Herzvolumen von den WV-Herzvolumen (= tatsächl. Herzvolumen)

Abb. 5

Verfahren III

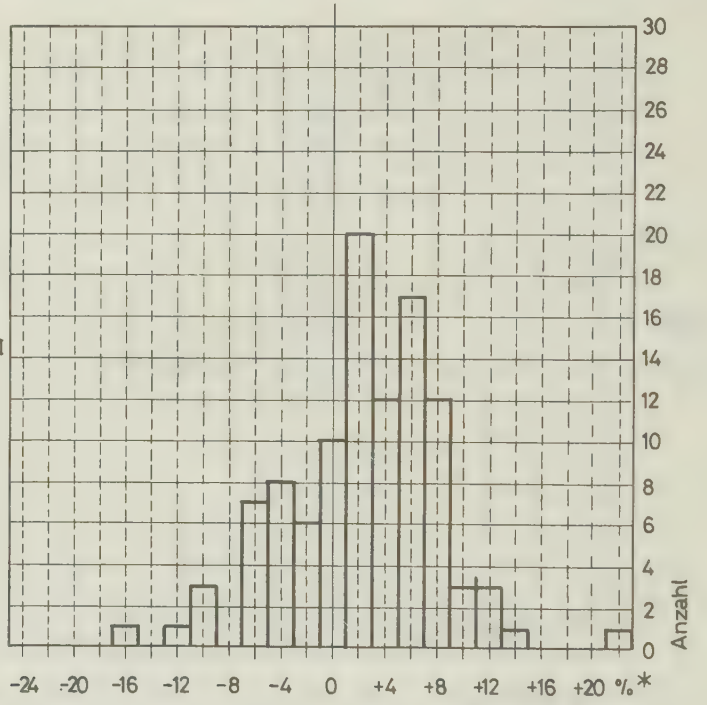
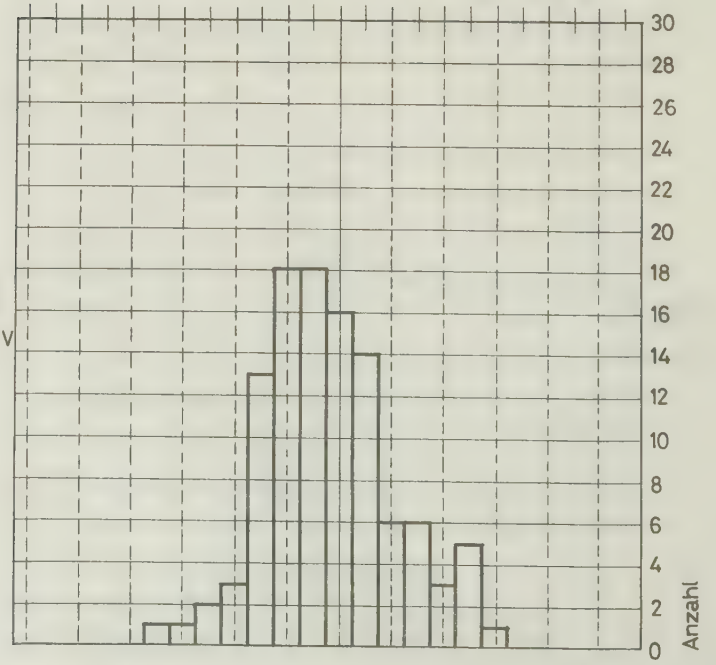


Abb. 6

Verfahren IV



*) Abweichung vom tatsächl. Herzvolumen

Häufigkeitsverteilung der Abweichungen

der gemessenen Herzvolumen von den WV-Herzvolumen (= tatsächl. Herzvolumen)

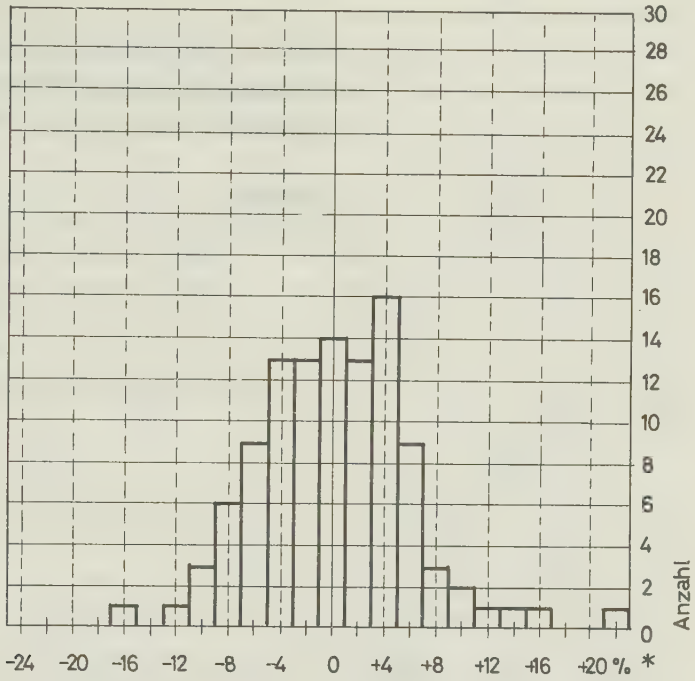


Abb. 7

Verfahren V

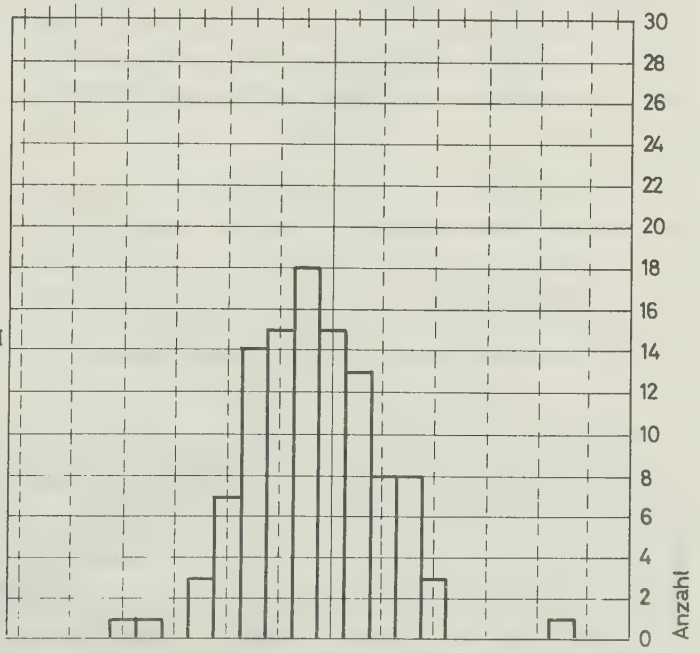


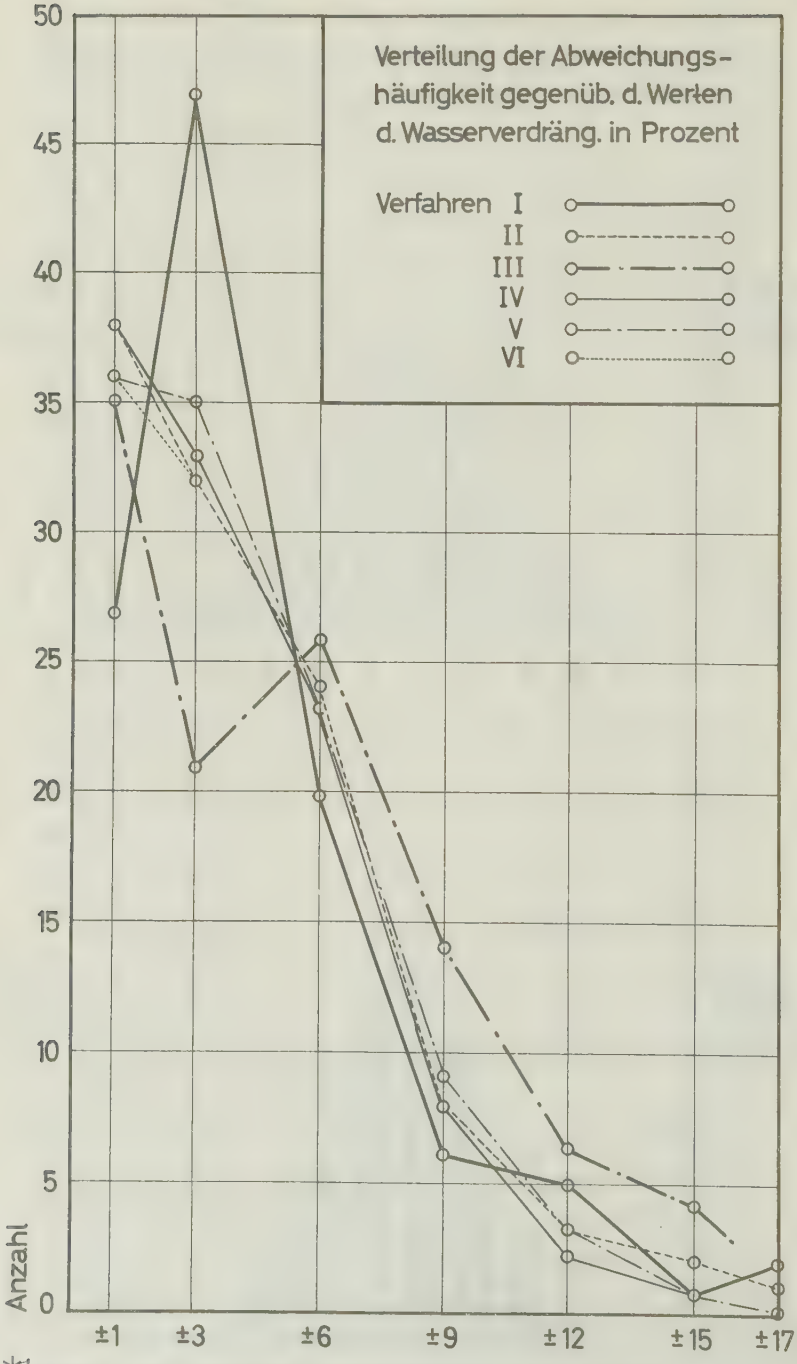
Abb. 8

Verfahren VI

*) Abweichung vom tatsächl. Herzvolumen

Abb. 9, Zusammenfassung der in den

Abbildungen 3-8 dargestellten Häufigkeitsverteilungen



*) Abweichung vom tatsächl. Herzvolumen

Zusammenfassung

Die Entwicklung der röntgenologischen Herzvolumenmessung wird kurz dargestellt.

In der klinischen Praxis hat sich vor allem die Herzvolumenberechnung nach der Rohrer-Kahlstorf-Formel durchgesetzt. Üblicherweise werden dabei die Sagittalaufnahme zur Bestimmung der Fläche des Herzschattens und die senkrecht dazu stehende Seitaufnahme zur Erfassung des größten Tiefendurchmessers herangezogen.

Im Rahmen dieser Arbeit sollte die Rohrer-Kahlstorf-Formel in der Modifikation nach M u s s h o f f und R e i n d e l l

a) nocheinmal auf ihre Fehlerbreite in einer größeren Meßreihe geprüft werden;

b) dahingehend geprüft werden, ob die Methoden der Erfassung der Fläche des Herzschattens - planimetrische Ausmessung oder Berechnung mittels Ellipsenformel - zu unterschiedlichen Resultaten führen, und

c) als wichtigste Fragestellung dieser Arbeit sollte untersucht werden, ob die Verwendung im ersten oder zweiten schrägen Durchmesser gefertigter Herzaufnahmen zu gleichwertigen Ergebnissen führt. Bei Verwendung von Schrägaufnahmen kann in der Regel der Herzschatten besser abgegrenzt werden.

Das Untersuchungsmaterial bestand aus 102 Leichenherzen, deren tatsächliches Volumen durch ihre Wasserverdrängung gemessen und mit den rechnerisch

gefundenen Herzvolumenwerten verglichen wurde. Zum Anfertigen der Röntgenaufnahmen wurden die Herzen der Lage in situ entsprechend in strahlendurchlässiges Kunststoffmaterial gebettet. Dadurch verminderten sich die Schwierigkeiten bei der Abgrenzung des Herzschattens erheblich, die sonst bei der klinischen Anwendung eine zusätzliche Fehlermöglichkeit darstellen. Das muß bei der Bewertung unserer Ergebnisse berücksichtigt werden.

Das Volumen jedes einzelnen Herzens wurde mittels der Volumenformel nach Rohrer und Kahlstorf und 4 Röntgenaufnahmen sechsfach berechnet:

1. aus einer Sagittal- und Seitaufnahme und Erfassung der Herzfläche
   a) mittels Moritz'schem Herzviereck und Ellipsenformel,
   b) planimetrisch

2. aus einer Aufnahme im ersten schrägen Durchmesser zur Herzflächenbestimmung
   a) mittels Moritz'schem Herzviereck und Ellipsenformel,
   b) planimetrisch
   Das Tiefenmaß wurde aus einer Aufnahme im zweiten schrägen Durchmesser gewonnen.

3. aus der Aufnahme im zweiten schrägen Durchmesser zur Herzflächenmessung
   a) mit Hilfe des Moritz'schen Herzvierecks und der Ellipsenformel,
   b) planimetrisch
   Das Tiefenmaß wurde bei diesen beiden Methoden aus der Aufnahme im ersten schrägen Durchmesser gemessen.

Ergebnisse:
Nach unseren Prüfungsergebnissen liegen die Fehlerbreiten der einzelnen Verfahren zwischen 0,5 und 3,1 %, bzw. bei der Volumenbestimmung von 11 erheblich von der Ellipsoidform abweichenden Herzen zwischen 0,6 und 4,3 %. Andere Autoren, die allerdings mit kleineren Meßreihen arbeiteten und nur Sagittal- und Seitaufnahmen benutzten, haben ähnliche Fehlerbreiten mitgeteilt.

Bei den oben unter 1.a und b und 2.a genannten Verfahren konnten die Abweichungen vom Sollwert statistisch als durch die Methode bedingte systematische Fehler gesichert werden. Bei den übrigen 3 Verfahren waren die Abweichungen vom Sollwert dagegen zufällig.

Es zeigt sich also, daß bei Gebrauch von Schrägaufnahmen mindestens ebenso günstige Ergebnisse bei der Herzvolumenmessung zu erwarten sind als bei Verwendung von Sagittal- und Seitaufnahmen. So haben insbesonders die unter 2.b und 3.a angeführten Methoden die geringsten Differenzen vom Sollwert.

Bei zusätzlicher Berücksichtigung der Streubreite als weiteres Maß für die Qualität einer Meßmethode hat das Verfahren 2.a die schlechtesten Resultate.

Folgerungen:

1. Nach unseren Prüfungsergebnissen können zur röntgenologischen Herzvolumenmessung nach der Rohrer-Kahlstorf-Formel Röntgenaufnahmen im ersten und zweiten schrägen Strahlengang mit mindestens ebenso gutem Erfolg verwendet werden wie die Sagittal- und Seitaufnahme.

2. Wird eine Aufnahme im ersten Schrägdurchmesser zur Ermittlung der Fläche des Herzschattens benutzt, sollte die Fläche planimetrisch ausgemessen werden. Offensichtlich weicht in dieser Projektionsrichtung die Herzfläche stärker als in den anderen von der Ellipsoidform ab, so daß die Anwendung der Ellipsenformel zu signifikant schlechteren Ergebnissen führt.

3. Die planimetrische und rechnerische Herzflächenermittlung führen - mit Ausnahme von 2. - nicht zu unterschiedlichen Resultaten.

4. Unsere Resultate rechtfertigen durchaus die Anwendung der Volumenformel nach Rohrer-Kahlstorf zur klinischen Herzvolumenmessung. Fehler von über 8 % traten selten auf. Der von Kahlstorf bei Addition aller Fehlermöglichkeiten mit 15 % angegebene maximale absolute Fehler wurde bei der Ausmessung von 102 Herzen von jedem der angewendeten Verfahren höchstens einmal erreicht.

Literaturverzeichnis

1.) Bardeen, C. R.: Determination of the size of the hearts by means of X-rays. Amer. J. A nat. 23 (1918) 423

2.) Benedetti, P.: Bemerkungen zu der Arbeit von H. Ludwig über "Röntg. Beurteilung der Herzgröße". Fortschr. Röntgenstr. 59 (1939) 602

3.) Betoulieres, P., Giraud, G., Pelissier, M., Barjon, P., Latour, H., Puech, P.: Arch. Mal. Coeur (1956)

4.) Bollini, V.: Note di cardio-volumetria sperimentale. Radiol. fiscia med. 2 (1935) 193

5.) Braun, H.: Das Herzvolumen und seine Beziehungen zu den anderen haemodynamischen Faktoren unter Anwendung neuer röntgenologischer Untersuchungsmethoden. Arch. Kreisl. Forschung 32 (1960) 87

6.) Brednow, W.: Plastische Darstellung des Herzens Z. klin. Med. 122 (1932) 382

7.) Büchner, H.: Das Röntgentopogramm, ein einfaches Hilfsmittel zur räumlichen Orientierung in Diagnostik und Therapie. Fortschr. Röntg. Str. 91 (1959)

8.) Büchner, H., Griese, M.: Röntgenologische Herzvolumenbestimmung und Herzmodellierung. Bisherige Methoden und ein neuer Beitrag zur routinemäßigen klinischen Durchführung. Arch. Kreisl. Forschung 32 (1960) 292

9.) Cignolini, P.: Lo studio radiologico delle volumetria cardiaca, proposto di un nuovo metodo e suo controllo anatomico. Cuore e Circol. 12 (1928) 405

10.) Dietlen, H.: Über die klinische Bedeutung der Veränderungen am Zirkulationsapparat, insbesondere der wechselnden Herzgröße bei verschiedener Körperstellung. Dtsch. Arch. klin. Med. 97 (1909) 132

11.) Duhamel, J., Martin, P. L., Broussin, J., Guillon, M.: La methode tomographique dans la mesure du volume d'un vincere plein. Application au coeur. Acta radiol. 41 (1954) 372

12.) Friedmann, C. E.: Symposium on roentgenologic heartvolume determination. Discussion. Cardiologia (Basel) 14 (1949) 368

13.) Frisch, P., M. Kaltenbach: Planimetrische Herzfläche und Moritz'sches Herzrechteck als Ausgangswert der Herzvolumenbestimmung. Z. Kreisl. Forschung 52 (1963) 243

14.) Frisch, P., Klepzig, H.: Herzgrößenbestimmung bei Herzkranken. Arch. Kreislaufforschung 33 (1960) 215

15.) Fuchs, G., Bayer, O.: Eine neue Methode zur Bestimmung des Herzvolumens. Fortschr. Röntg. Str. 78 (1953) 709

16.) Gebhardt, W.: Eine neue Methode der röntgenologischen Herzvolumenbestimmung mit Hilfe des Simultanen Schichtverfahrens im Vergleich mit den bisher üblichen Methoden. Klin. Wochenschrift 35 (1957) 1119

17.) Gebhardt, W., Danner, D., Reindell, H., König, K.: Eine vergleichende Untersuchung zur methodischen Fehlerbreite der röntgenologischen Herzvolumenbestimmung. Acta med. scand. 6 (196o) 467

18.) Gebhardt, W., Reindell, H., König, K.: Zur röntgenologischen Volumenbestimmung. Arch. Kreisl. Forschung 33 (1960) 389

19.) Geigel, R.: Die klinische Verwertung der Herzsilhouette. Münch. med. Wochenschrift 22 (1914)

20.) Hammer, G.: Die Herzfläche als Maßstab für die Größenbestimmung. Fortschritte Röntgenstr. 38 (1928) 1000

21.) Jonsell, S.: A method for the determination of the heartsize by teleroentgenography (a heart volume index). Acta radiol. (Stockholm) 20 (1939) 235

22.) Jonsell, S.: Symposium on roentgenologic heart volume determinations. Cardiologia (Basel) 14 (1949) 369

23.) Kahlstorf, A.: Über eine orthodiagraphische Herzvolumenbestimmung. Fortschr. Röntgenstr. 45 (1932) 123

24.) Kahlstorf, A.: Über Korrelationen der linearen Herzmaße und des Volumens. Klin. Wochenschr. 12 (1933) 262

25.) Kahlstorf, A.: Möglichkeiten und Ergebnisse röntgenologischer Herzvolumenbestimmungen. Klin. Wochenschr. 17 (1938) 223

26.) Kjellberg, S. R.: Symposium on roentgenological heart volume determination. Cardiologia (Basel) 14 (1949) 374

27.) Kjellberg, S. R.: The roentg. determ. of heart volume. Acta med. scand. 145, Suppl. 277 (1953) 25

28.) Klepzig, H., Frisch, P.: Über die röntgenologische Herzvolumenbestimmung und ihre klinische Bedeutung. Siemens-Reiniger Werke Nachrichten 15 (1961) 15

29.) Klepzig, H., Frisch, P.: Die praktische Bedeutung der röntgenologischen Herzvolumenbestimmung. Beitrag zur inneren Medizin 391, hrsg. von W. Keiderling, W. Schattauer, Stuttgart (1964)

30.) Klepzig, H., Frisch, P.: Röntgenologische Herzvolumenbestimmung in Klinik und Praxis 1965 Thieme Verlag

31.) König, K., Bichmann, R.: Vergleichende Untersuchungen zur röntgenologischen Herzvolumenbestimmung in Rücken- und Bauchlage. Fortschr. Röntgenstr. 107, 1 (1967) 38

32.) König, K., Reindell, H., Roskamm, H., Musshoff, K.: Die Herzgröße bei muskulärer Schädigung. Radiologe 7 (1967) 178

33.) Larsson, H., Kjellber, S. R.: Roentgenological heart volume determination with special regard to pulse rate and the position of the body. Acta radiol. 29 (1948) 159

34.) Liljestrand, G., Lysholm, E., Nylin, G., Zachrisson, C. G.: The normal heart volume in man. Amer. Heart J. 17 (1939) 1, 139, 250

35.) Lind, J.: Heart volume in normal infants. Acta radiol. Suppl. 82 (1950)

36.) Ludwig, H.: Röntgenologische Beurteilung der Herzgröße. Fortschr. Röntgenstr. 59 (1939) 1, 139, 250

37.) Lysholm, E.: Röntgenoskopischer Modellierungsapparat auch für Quersektion und Lokalisation. Acta radiol. 7 (1926) 189

38.) Lysholm, E., Nylin, G., Quarna, K.: The relation between the heart volume and strike volume under physiological and pathological conditions. Acta radiol. 15 (1934) 237

39.) Moritz, F.: Eine Methode um beim Röntgenverfahren aus dem Schattenbilde eines Gegenstandes dessen wahre Größe zu ermitteln und die exakte Bestimmung der Herzgröße nach dem Verfahren. Münchner med. Wochenschrift 29 (1900)

40.) Moritz, F.: Zur Beurteilung der Herzgröße. Fortschritte Röntgenstr. 38 (1928) 993

41.) Musshoff, K.: Das normale Herzvolumen. Habilitationsschrift, Freiburg i.Br. (1959)

42.) Musshoff, K.: Die Methoden der röntgenologischen Herzvolumenbestimmung und ihre Fehlerbreite. Fortschr. Röntgenstr. 100 (1964) 165

43.) Musshoff, K.: Die Ergebnisse der röntgenologischen Volumenbestimmung über die normale Herzgröße. Versuch einer Einordnung. Fortschritte Röntgenstr. 102 (1965) 237, 380

44.) Musshoff, K., Frisch, P.: Methodische Voraussetzungen der röntgenologischen Herzbeurteilung. 50. Freiburger Symposium 1957, Springer 1958

45.) Musshoff, K., Reindell, H.: Zur Röntgenuntersuchung des Herzens in horizontaler und vertikaler Körperstellung. I. Mitteilung: Der Einfluß der Körperstellung auf das Herzvolumen. II. Mitteilung: Der Einfluß der Körperstellung auf die Herzform. Dtsch. med. Wochenschrift 81 (1956) 1001, 82 (1957) 26

46.) Musshoff, K., Reindell, H.: Herzmaße. Handbuch der medizinischen Radiologie X/1 (1969) 34 Springer

47.) Musshoff, K., Reindell, H., Gebhardt, W., König, K., Roskamm, H.: Die Methode der röntgenologischen Volumenbestimmung des Herzens. Radiologe 7 (1967) 161

48.) Musshoff, K., Reindell, H., Klepzig, H., Frisch, P., Emmrich, J., König, K., Steim, H., Baumgarten, B., Moser, F.: Zur Normgröße des gesunden Herzens. Fortschr. Röntgenstr. 88 (1958)

49.) Musshoff, K., Reindell, H., Roskamm, H., König, K.: Das normale Herzvolumen. Radiologe 7 (1967) 165

50.) Palmieri, G.: über eine Methode der plastischen Darstellung des Herzens am Lebenden. Acta rad. Stockh. 10 (1929) 127

51.) Reindell, H., Frisch, P.: Neuere Untersuchungsergebnisse über Beziehungen zwischen Größe und Leistungsbreite des gesunden menschlichen Herzens, insbesondere des Sportherzens. Dtsch. med. Wochenschrift 82 (1957) 613

52.) Reindell, H., Musshoff, K., Gebhardt, W., König, K., Roskamm, H.: Die Dynamik des gesunden und kranken Herzens als Grundlage einer Beurteilung seiner Größe und Form. Radiologe 7 (1967) 169

53.) Reindell, H., Musshoff, K., Roskamm, H., König, K.: Herzgröße und Herzinsuffizienz. Dtsch. Röntgenkongress (1969) 78

54.) Rohrer, F.: Volumenbestimmung an Körperhöhlen und Organen auf orthogiagraphischem Wege. Fortschr. Röntgenstr. 24 (1916/17) 285

55.) Roskamm, H., Gauly, H., Hilsmann, H., Reindell, H.: Neuere Untersuchungen des Herzens in den verschiedenen Altersstufen. Radiologe 7 (1967) 168

56.) Roskamm, H., Reindell, H., König, K., Musshoff, K.: Die Herzgröße des leistungsstarken und leistungsschwachen gesunden Herzens.

57.) Takahashi, S. H., Skinozaki, T.: Solidography of the heart. Acta radiol. 41 (1954) 435

58.) Ungerleider, H. E., Gubner, R.: Evaluation of heart size measurements. Amer. Heart J. 24 (1942) 494

59.) Schatzki, R.: Plastische größen- und lagewahre Darstellung des Herzens. Fortschr. Röntgenstr. 37 (1928) 899

60.) Zdansky, E.: Röntgendiagnostik des Herzens und der großen Gefäße, Wien, Springer, 1949

Zum Schluß meiner Arbeit möchte ich
Herrn Prof. Dr. G. S c h i m e r t
für die freundliche Überlassung des
Themas danken.

Besonderen Dank schulde ich Herrn
Dr. J. E b e r l für die jederzeit
bereitwilligst gewährte Unterstützung
und Beratung.

L e b e n s l a u f

14.7.1940	geboren in Wagstadt als Tochter des Arztes Dr. med. Emil Roscher und seiner Ehefrau Gerda, geb. Thin
1946 - 1950	Besuch der Volksschule in Chamerau
1950 - 1959	Besuch der Oberrealschule in Cham Reifeprüfung im Sommer 1959
1959 - 1962	vorklinisches Studium an der Universität München naturwissenschaftliche Vorprüfung im SS 1960 ärztliche Vorprüfung im WS 1961/62
1962	ein klinisches Semester an der Universität Insbruck
1963 - 1965	weiteres klinisches Studium an der Universität München
Herbst 1965	ärztliche Prüfung in München
19.9.1968	ärztliche Bestallung
Januar bis Sept. 1969	Assistenzärztin auf der Inneren Abteilung des Städt. Krankenhauses Moabit in Berlin
Seit Januar 1970	Assistenzärztin auf der gynäkologischen und geburtshilflichen Abteilung des Krankenhauses "Waldfriede" in Berlin - Zehlendorf
Seit Sept. 1966	verheiratet, 2 Kinder